



PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: 05070890 A

(43) Date of publication of application: 23.03.93

(51) Int. Cl.

C22C 38/00

C22C 38/54

(21) Application number: 03232068

(22) Date of filing: 11.09.91

(71) Applicant: NIPPON STEEL CORP

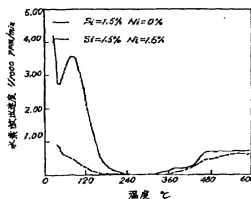
(72) Inventor: OHASHI SHOICHI
ISHIKAWA FUSAO
TAKAHASHI TOSHIHIKO(54) STEEL FOR HIGH STRENGTH BOLT EXCELLENT
IN DELAYED FRACTURE RESISTANCE

(57) Abstract:

PURPOSE: To provide a steel for high tensile strength bolt excellent in tensile strength and delayed fracture resistance by properly regulating the additive quantities of Si and Ni.

CONSTITUTION: The steel material has a composition consisting of, by weight, 0.20-0.50% C, 0.5-3.0% Si, 1.0-3.0% Ni, <0.50% Mn, 23.0% Cr, 0.3-3.0% Mo, 0.1-0.4% Cu, 20.02% N, further one or 2 kinds among 0.005-0.1% Al, 0.01-0.2% Nb, 0.005-0.05% Ti, 0.01-0.5% V, and 0.0003-0.005% B, and the balance essentially Fe with inevitable impurities and also has a quenched-and-tempered structure. By this method, the steel material for bolt excellent in delayed fracture resistance even if refined to $^{*}140\text{kgf/mm}^2$ tensile strength can be obtained. The simultaneous addition of Si and Ni is effective for preventing the infiltration and diffusion of hydrogen into the steel.

COPYRIGHT: (C)1993,JPO&Japio



特開平5-70890

(43)公開日 平成5年(1993)3月23日

(51)Int.Cl.⁵

C 22 C 38/00

識別記号

3 0 1 Z 7217-4K

A 7217-4K

庁内整理番号

F 1

技術表示箇所

38/54

審査請求 未請求 請求項の数1(全 9 頁)

(21)出願番号 特願平3-232068

(22)出願日 平成3年(1991)9月11日

(71)出願人 000006855

新日本製鐵株式会社

東京都千代田区大手町2丁目6番3号

(72)発明者 大橋 章一

千葉県富津市新富20-1 新日本製鐵株式

会社技術開発本部内

(72)発明者 石川 房男

千葉県富津市新富20-1 新日本製鐵株式

会社技術開発本部内

(72)発明者 高橋 稔彦

千葉県富津市新富20-1 新日本製鐵株式

会社技術開発本部内

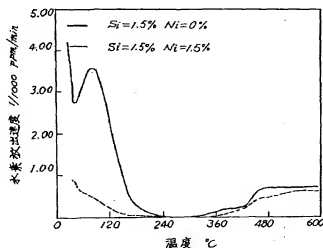
(74)代理人 弁理士 大関 和夫

(54)【発明の名称】 耐遅れ破壊特性に優れた高強度ボルト用鋼

(57)【要約】

【目的】 本発明は 140 kgf/mm^2 以上の引張強さを有し、かつ耐遅れ破壊特性に優れた高強度ボルト用鋼を提供するものである。

【構成】 重量%で、C:0.20~0.50%、Si:0.5~3.0%、Ni:1.0~3.0%、Mn:0.50%未満、Cr:3.0%以下、Mo:0.3~3.0%、Cu:0.1~0.4%、N:0.02%以下を含有し、さらにAl:0.005~0.1%、Nb:0.01~0.2%、Ti:0.005~0.05%、V:0.01~0.5%、B:0.0003~0.005%の内の1種または2種以上を含有し、残部は実質的にFe及び不可避免的不純物からなり、かつ焼入れ組織を有する鋼材であって、引張強度 140 kgf/mm^2 以上に調質しても、耐遅れ破壊特性に優れている。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 重量%で、C:0.20~0.50%、Si:0.5~3.0%、Ni:1.0~3.0%、Mn:0.50%未満、Cr:3.0%以下、Mo:0.5~2.0%、Cu:0.1~0.4%、N:0.02%以下なる量を含有し、さらにAl:0.005~0.1%、Nb:0.01~0.2%、Ti:0.005~0.05%、V:0.01~0.5%、B:0.003~0.005%の内の1種または2種以上含有し、残部は実質的にFe及び不可避の不純物からなり、かつ焼入れ焼戻し組織を有することを特徴とする耐遅れ破壊特性に優れた高強度ボルト用鋼。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は140kgf/mm²以上の引張強さを有し、かつ耐遅れ破壊特性に優れた高張力ボルト用鋼に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 近年、特に構造物の大形化、自動車や土木機械等の軽量化に伴い、引張強さ120~130kgf/mm²以上の高張力ボルトの開発が要求されてきている。従来、高張力ボルトは、JISC4105SCM435の低合金鋼を焼入れ、焼戻し処理を行い製造されているが、140kgf/mm²以上の引張強さを有するボルトにおいては、未だ世の中に広く普及しておらず、耐遅れ破壊特性が劣化するところから、はるかに強度の低いF11クラスのボルトに比べて、使用制限を受けているのが現状である。

【0003】 140kgf/mm²以上の高張力ボルトとして、例えば特開昭60-114551号公報、特開平2-145746号公報、特開平2-232340号公報等に各種成分の高強度鋼及びその製造方法が提案されている。これらの発明は、遅れ破壊クラックがオーステナイト粒界を起点・伝播経路として発生することに注目し、粒界偏析元素の低減、粒の細粒化等により粒界強化を図り、耐遅れ破壊特性を改善しているものである。

【0004】 しかし、本発明者らは、遅れ破壊に関する長年の研究により、鉄と鋼72(1986)S1518に示すように、遅れ破壊は140kgf/mm²以上の材料においては、極めて微量の拡散性水素(0.3ppm以下)で誘起されることを明らかにしており、単に粒界強化だけでなく、鋼材に侵入し、拡散する水素自体を抑制しなければ、完全に遅れ破壊に対する懸念を払いのけることができないことを示した。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】 本発明は140kgf/mm²以上の引張強さを有し、かつ耐遅れ破壊特性に優れた高張力ボルト用鋼を提供するものである。

【0006】

【課題を解決するための手段】 本発明者らは、耐遅れ破

壊特性に優れた高張力ボルト用鋼の開発を進めた結果、鋼材への水素侵入・拡散を抑制する成分として、Si及びNiが極めて効果的であることを見出した。即ち、本発明の要旨とするところは、重量%で、C:0.20~0.50%、Si:0.5~3.0%、Ni:1.0~3.0%、Mn:0.50%未満、Cr:3.0%以下、Mo:0.5~2.0%、Cu:0.1~0.4%、N:0.02%以下なる量を含有し、さらにAl:0.005~0.1%、Nb:0.01~0.2%、Ti:0.005~0.05%、V:0.01~0.5%、B:0.003~0.005%の内の1種または2種以上含有し、残部は実質的にFe及び不可避の不純物からなり、かつ焼入れ焼戻し組織を有することを特徴とする耐遅れ破壊特性に優れた高強度ボルト用鋼であり、引張強度140kgf/mm²以上に調質しても、耐遅れ破壊特性に優れていることを特徴としている。

【0007】

【作用】 以下に、本発明における鋼の組成限定理由について述べる。

(1) C:0.20~0.50%

Cは素材鋼に熱処理を加えることにより所要の強度を付与するのに有効な元素であり、その効果を得るためには、0.20%以上含有させることが必要である。しかし、多すぎると靱性を劣化させると共に耐遅れ破壊特性を劣化させるので、0.50%以下としたが、できれば0.30%以下が望ましい。

【0008】 (2) Si:0.50~3.0%

Siは鋼の脱炭、強度増加に有効な元素であると同時に鋼材への水素侵入・拡散を抑制し、耐遅れ破壊特性向上にも有効な元素であるが、その含有量が0.50%未満ではその効果は得難く、できれば0.7%を超えることが望ましい。一方、その含有量が3.0%を超えると靱性の劣化が著しくなるため、その含有量を0.50~3.0%とした。

【0009】 (3) Ni:1.0~3.0%

Niは鋼の焼入性、強度、靱性及び耐腐食性の向上に効果があるばかりでなく、Siと同時に添加することにより、鋼材への水素侵入・拡散を抑制し、耐遅れ破壊特性を向上させる元素であるが、その含有量が1.0%未満では、その効果は得難く、一方、その含有量が3.0%を超えると効果が飽和し、しかも比較的高価な元素なので、その含有量を1.0~3.0%とした。

【0010】 図1にSi、Niの同時添加の効果を示す。

これは、各々10φ×100mmのサンプルを950℃×30分で焼入れ、500℃×60分で焼戻し処理し、3.6%塩酸に20分間浸漬し強制的に鋼中に水素をチャージした後に、熱的分別法によりサンプルの水素放出曲線を求めたものである。図から明らかなようにSi、Ni同時添加したサンプルにおいて、250℃以下に見られる拡散性水素の量が極めて少ないことがわか

3

る。つまりSi、Niの同時添加が鋼中への水素侵入・拡散を抑制するのに非常に有効であることがわかる。

【0011】特開昭63-29314号公報では、高Si化することにより鋼中の水素の拡散を抑制し、しかもNiを0.1~4.0%、Zrを0.01~0.15%の範囲で添加することにより耐遅れ破壊特性を改善できることが提案されているが、Si及びNiの添加量を上記のように適切な範囲内に制御し、しかも後述するように熱処理条件を適切にすれば、Zr等の高価な元素を添加しなくとも十分耐遅れ破壊特性は改善可能である。

【0012】(4) Mn: 0.50%未満
Mnは脱炭、脱硫に必要な元素であり、さらに焼入性及び強度の向上に有効であるが、粒界に偏析し、粒界を脆化させる元素であるため、0.50%未満にする必要がある。

(5) Cr: 3.0%以下
Crは焼入性、耐腐食性の向上に有効な元素であるが、過剰になるとその効果が飽和し、むしろ靱性が劣化し、焼戻しにも長時間を要し不経済であるので、3.0%以下とすべきである。

【0013】(6) Mo: 0.5~2.0%
Moは焼入性の向上に寄与すると同時に、結晶粒の微細化及び粒界強化向上に寄与する元素である。またCuと同時に添加すると自然環境下における鋼表面の腐食孔の生成を抑制する効果がある。特に、Niを大量に添加する本発明鋼では腐食孔ができ易い欠点があるためMoを添加するが、0.5%未満ではその効果は得難く、2.0%を超えるとその効果が飽和するので、0.5~2.0%とした。

【0014】(7) Cu: 0.1~0.4%
CuはMoと同時に添加することにより自然環境下における鋼表面の腐食孔の生成を抑制する効果がある。上記と同じ理由によりMoと同時にCuを添加するが、0.1%未満ではその効果が得難く、0.4%を超えるとその効果が飽和するので、0.1~0.4%とした。

【0015】特公昭54-41982号公報には、Ni: 1.0%以下、Mo: 0.5~2.0%、Cu: 0.1~0.5%の組成において、MoとCuの同時添加で腐食孔の生成を抑制することが可能となり、耐遅れ破壊特性を向上できることが提案されているが、Ni: 1.0%以下では母材の水素侵入・拡散を抑制するには不十分であり、前述の成分範囲にSi、Niを添加し、後述するように熱処理条件を適切に行えば、大幅に耐遅れ破壊特性を改善することが可能である。

【0016】(8) N: 0.02%以下
Nは粒界に偏析し、粒界を著しく弱くする元素であるため、遅れ破壊を助長する有害な元素である。そのため含有量を0.02%以下に抑制する必要がある。

(9) Al: 0.005~0.1%
Alは鋼の脱炭の安定化、均質化及び細粒化を図るのに

4

有効な元素であるが、0.005%未満ではその効果を得ることはできず、一方、0.1%を超えて含有させてもその効果は飽和してしまい、また介在物の増大による脆が発生し、靱性が劣化するため、0.005~0.1%とした。

【0017】(10) V: 0.01~0.5%
Vは鋼を細粒化し、さらに析出硬化して鋼の強度を向上させる作用があるので、より高い強度が要求される場合に添加するが、0.01%未満ではその効果を得ることはできず、一方、0.5%を超えて含有させてもその効果は飽和してしまうため、0.01~0.5%とした。

【0018】(11) Ti: 0.005~0.05%
Tiは鋼を細粒化し、さらに析出硬化して鋼の強度を向上させる作用があるので、より高い強度が要求される場合に添加するが、0.005%未満ではその効果を得ることはできず、一方、0.05%を超えて含有させてもその効果は飽和してしまい、しかも被割性も劣化するようになるため、0.005~0.05%とした。

【0019】(12) Nb: 0.01~0.2%
Nbは鋼を細粒化し、さらに析出硬化して鋼の強度を向上させる作用があるので、より高い強度が要求される場合に添加するが、0.01%未満ではその効果を得ることはできず、一方、0.2%を超えて含有させてもその効果は飽和してしまうため、0.01~0.2%とした。

【0020】(13) B: 0.0003~0.005%
Bは鋼の焼入性を一段と向上させる作用があるので、特に大型の製品で、より高い強度が要求される場合に添加するが、0.0003%未満ではその効果を得ることができず、一方、0.005%を超えて含有させてもその効果は飽和してしまい、しかも靱性も劣化させるため、0.0003~0.005%とした。

【0021】上記組成の鋼で140kgf/mm²以上の引張強さと良好な耐遅れ破壊特性を付与するためには、焼入れて低温での変態生成物(マルテンサイトや低温ベイナイト)となし、これを焼戻した焼入れ焼戻し組織とすることが必要であるため、鋼の組織を焼入れ焼戻し組織と定めた。即ち、焼ならし材、圧延材、圧延材を焼戻した鋼材の組織の如く、高温での変態生成物であるベイナイト、フェライト、パーライトを主とする組織では、安定した引張強さで140kgf/mm²以上の高強度を得難く、耐遅れ破壊特性と引張強さで140kgf/mm²以上の高強度を共に得ようとする本発明の所期の目的を達成することができない。一方、焼入れままの鋼は引張強さが高いが、降伏点が低く、機械構造用鋼として用いられる場合に使用中に応力緩和の増大が生じ、さらに焼入れままでは耐遅れ破壊特性、靱性、加工性等が良好ではないという問題がある。

【0022】従って、鋼に所定の強度と耐遅れ破壊特性を付与するためには焼入れ焼戻し処理して、鋼の組織を

5

焼入れ焼戻し組織とする必要がある。さらに焼戻し処理は、Si及びNiの水素侵入・拡散抑制効果を十分に確

$$T \leq 50 \times |[\text{Si}] + [\text{Ni}]| + 773.15 \quad (1)$$

$$435.15 \leq T \times (20 + \log t) \leq 18500 \quad (2)$$

但し、Tは絶対温度表示の焼戻し処理温度、tは時間表示の焼戻し処理時間、[Si] [Ni]は重量%表示のSi及びNiの鋼中濃度である。

【0023】例えば、 $10\phi \times 100\text{mm}$ のサンプルを(1)式及び(2)式を満足する温度範囲内で焼戻し処理を実施した場合とそうでない場合で、3%塩酸に20分間浸漬し、強制的に鋼中に水素をチャージした後、熱的分別法により検出される拡散水素量(250℃以下で放出される水素の総計)を比較すると、図2、3に示すように、拡散性水素量は指定した条件を外れると急激に増加することがわかる。つまり、(1)(2)式を満足する温度範囲内での焼戻し処理が重要である。

【0024】

【実施例】次に、本発明を実施例により説明する。先ず通常の方法により表1に示す成分組成の鋼を(符号1~26)を溶製した。鋼1~16は本発明の範囲の組成を有している鋼で、鋼17~26は表1中の#印を付けた点において本発明の範囲から外れた鋼である。表1に成

6

*保するため、できれば(1)(2)式の条件を満足することが望ましい。

分組成を示した。

【0025】各々について、強度を140~160kgf/mm²のレベルに調質し、遅れ破壊評価試験を実施した。遅れ破壊評価試験は、図4に示す形状のノッチ付き試験片を製作し実施した。この1端を固定し、他端に荷重をかけることにより曲げ応力を加え、ノッチ部分を酢酸ナトリウムと塩酸でpH=2に調整した溶液に浸漬しつつ保持した。

【0026】荷重を変えて、曲げ応力と破断時間との関係を調べ、遅れ破壊曲線を作成し、30時間以上破断せずに維持できた荷重を下限界応力とし、30時間強度(σ_{B30hr})／静的曲げ応力(σ_{SB})の値、つまり30時間強度比で耐遅れ破壊特性を評価した。結果を表2に示すが、本発明鋼は耐遅れ破壊特性に優れていることは明らかである。

【0027】

【表1】

符 号	化 学 组 成 (重量%)										
	C	Si	Ni	Mn	Cr	Mo	Cu	N	Al	Nb	Ti
1	0.21	1.53	1.54	0.28	2.17	0.51	0.40	0.012	0.040	—	—
2	0.23	1.24	1.27	0.43	1.62	0.79	0.26	0.015	0.023	—	—
3	0.24	0.98	1.02	0.26	0.73	0.52	0.39	0.017	0.047	—	—
4	0.37	0.93	1.9	0.45	1.92	0.59	0.35	0.019	0.038	—	0.04
5	0.24	0.82	1.66	0.34	2.14	0.71	0.36	0.009	0.026	—	0.005
6	0.27	1.56	1.68	0.48	1.58	0.69	0.31	0.011	—	0.051	—
7	0.25	1.54	1.13	0.38	1.16	0.61	0.38	0.008	0.032	0.015	—
8	0.32	1.27	1.84	0.27	2.97	0.68	0.35	0.017	—	0.14	0.03
9	0.29	1.06	1.7	0.32	2.51	0.76	0.37	0.018	0.047	—	0.04
10	0.22	1.11	1.49	0.26	0.87	0.68	0.22	0.015	0.029	—	0.15
11	0.28	0.97	1.06	0.43	0.97	0.71	0.25	0.012	0.032	0.045	—
12	0.24	0.96	1.24	0.42	0.63	0.96	0.33	0.012	0.032	—	0.0015
13	0.28	0.53	1.38	0.43	0.86	0.91	0.22	0.016	0.052	0.07	—
14	0.21	1.45	1.06	0.33	0.82	0.63	0.19	0.015	0.031	0.038	0.02
15	0.27	0.64	1.86	0.38	2.82	1.15	0.38	0.016	0.035	0.033	0.03
16	0.28	1.42	1.38	0.46	1.98	0.53	0.23	0.018	0.046	0.0020	0.03
17	0.26	0.25#	1.52	0.27	2.87	0.52	—#	0.015	0.048	—	—
18	0.33	1.46	0.24#	0.39	1.76	0.53	0.22	0.017	0.032	—	—
19	0.27	0.28#	0.42#	0.42	2.93	0.56	0.38	0.010	0.040	—	—
20	0.62#	0.87	0.83	0.35	0.92	0.28#	0.05#	0.013	0.035	—	—
21	0.31	1.15	0.92	1.32#	2.16	—#	0.25	0.009	0.038	—	—
22	0.28	1.56	1.05	1.13#	1.49	0.20#	0.07#	0.018	—	0.045	—
23	0.36	1.39	0.88	0.49	0.97	0.54	0.32	0.105#	—	0.051	—
24	0.42	1.18	0.92	0.27	2.85	0.58	0.26	0.012	0.041	—	0.20#
25	0.39	0.92	0.98	0.44	2.23	0.66	0.22	0.015	0.032	—	—
26	0.27	1.43	—#	0.45	1.98	0.55	0.35	0.011	0.035	—	0.072#

【0028】

【表2】

9		10			
	符号	引張強さ kgf/mm ²	$\frac{\sigma_{B0.01r}}{\sigma_B}$	焼入れ温度 ℃	焼戻し温度 ℃
本 発 明 鋼	1	152.2	0.80	920	450
	2	153.0	0.81	960	500
	3	152.3	0.83	930	480
	4	151.0	0.79	950	475
	5	151.7	0.81	920	460
	6	153.5	0.78	950	530
	7	148.5	0.77	920	500
	8	153.6	0.73	910	550
	9	151.0	0.72	960	500
	10	152.4	0.77	960	450
	11	150.6	0.63	920	480
	12	148.6	0.65	920	400
	13	151.7	0.62	950	450
	14	151.1	0.63	920	500
	15	149.7	0.65	950	470
	16	147.5	0.64	940	600
比 較 鋼	17	152.1	0.36	910	450
	18	150.4	0.33	960	550
	19	152.7	0.28	920	500
	20	156.1	0.35	920	470
	21	149.0	0.45	950	490
	22	148.7	0.38	920	600
	23	155.9	0.35	930	480
	24	152.7	0.32	930	475
	25	151.5	0.26	980	530
	26	147.6	0.28	910	600

【0029】

【発明の効果】以上述べたように、本発明は140kgf/mm²以上の引張強さを有し、かつ耐遅れ破壊特性に優れた高張力ボルト用鋼を提供するものである。例えば、最近特に構造物の大型化、自動車や土木機械等の軽量化に伴い、引張強さ140kgf/mm²以上の高張力ボルトの開発の要求が社会的に高まっているが、本発明はこれらのニーズに十分応えることが可能な耐遅れ破壊特性に優れた高張力ボルト用鋼を提供することが可能と

40 なる。

【図面の簡単な説明】

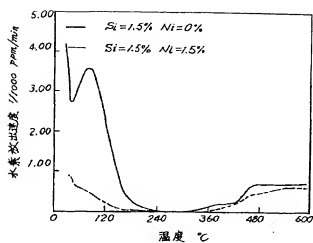
【図1】Si、Ni同時添加の効果を示す図である。

【図2】焼戻し条件と鋼材の拡散性水素量の関係を示す図である。

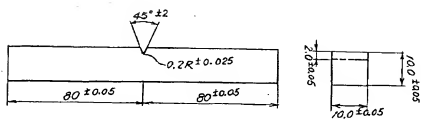
【図3】焼戻し条件と鋼材の拡散性水素量の関係を示す図である。

【図4】遅れ破壊評価試験片形状を示す図である。

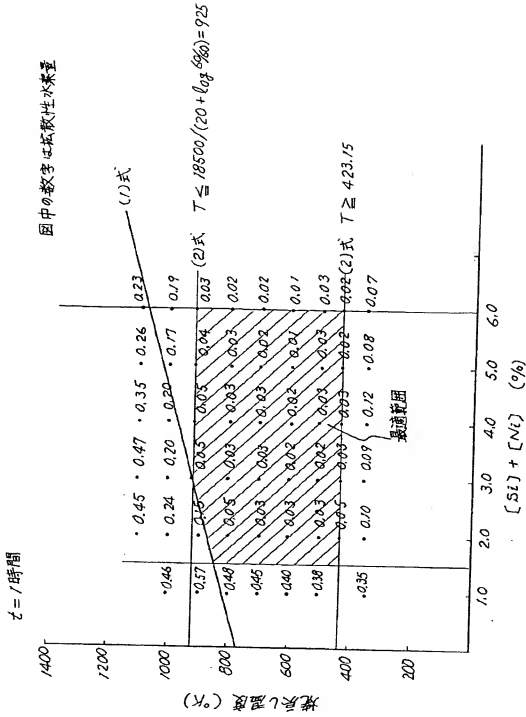
【図1】



【図4】



【図2】



【図3】

